



TUGAS AKHIR - TE 141599

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *BOOST CONVERTER*
DENGAN *HIGH FREQUENCY TRANSFORMER* (HFT)
UNTUK SISTEM *PHOTOVOLTAIC* TERHUBUNG KE
JALA-JALA**

Musafa Reza Maulana
NRP 2213100013

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TE 141599

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF BOOST
CONVERTER USING HIGH FREQUENCY
TRANSFORMER (HFT) FOR PHOTOVOLTAIC'S SYSTEM
GRID CONNECTED**

Musafa Reza Maulana
NRP 2213100013

Advisors

Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Desain dan Implementasi *Boost Converter* dengan *High Frequency Transformer* (HFT) untuk Sistem *Photovoltaic* terhubung ke jala-jala**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017

Musafa Reza Maulana
NRP. 2213100013

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI BOOST CONVERTER
DENGAN HIGH FREQUENCY TRANSFORMER (HFT)
UNTUK SISTEM PHOTOVOLTAIC TERHUBUNG KE
JALA-JALA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

17-07-17

Dosen Pembimbing II

Dedet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph. D. Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197311192000031001 NIP. 198006032006041003



Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

Boost converter DC-DC merupakan rangkaian listrik yang berfungsi untuk menaikkan level tegangan. Pada sistem *photovoltaic* yang terhubung jala-jala, *boost converter* digunakan untuk menyediakan tegangan yang cukup bagi *inverter* yang terhubung dengan jala-jala. *Boost converter* konvensional memiliki kelemahan yaitu apabila sumber tegangan DC mengalami gangguan maka akan berpengaruh pada jala-jala, sehingga sistem *photovoltaic* yang terhubung jala-jala memerlukan isolasi untuk memutuskan hubungan elektris antara sumber tegangan DC dengan jala-jala.

Pada tugas akhir ini dibahas mengenai desain konverter DC-DC menggunakan transformator frekuensi tinggi yang diimplementasikan pada sistem *photovoltaic*. Penggunaan transformator bertujuan untuk mengisolasi hubungan elektris antara sumber tegangan masukan *boost converter* dengan jala-jala, sesuai dengan prinsip kerja transformator yang bekerja menggunakan prinsip induksi. Pada pengujian, konverter ini mampu mengonversi tegangan masukan DC 20V menjadi tegangan keluaran DC 391V dengan efisiensi 88,42%.

Kata Kunci: *Boost Converter*, Transformator Frekuensi Tinggi, Sistem *Photovoltaic* terhubung jala-jala.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

Boost converter DC-DC is an electrical circuit that used to increase voltage level. In grid connected photovoltaic system, boost converter used to provide sufficient voltage for grid connected inverter. Conventional boost converter has weakness that when DC source has disturbance it will influence to the grid, so grid connected photovoltaic system needs an isolator to disconnect electrical connection between DC source and grid.

In this final project discussed the design of DC-DC converter using a high-frequency transformer that implemented in a photovoltaic system. The purpose of using transformer is to isolate the electrical connection between input voltage of boost converter and grid, it is appropriate with transformer's principle works with induction principle. In experiment, this converter is able to convert DC voltage 20V to DC voltage 391V with 88,42% of efficiencies.

Key Words: Boost Converter, High Frequency Transformer, Photovoltaic's system grid connected.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kegiatan ini, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang bersifat penelitian ilmiah selama satu semester sebagai aplikasi ilmu serta persyaratan menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik, Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Buku tugas akhir ini dapat terselesaikan atas bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak saya H. Syamsuddin, Ibu saya Nur Khasanah, adik saya Nealy Zulfi Lutfiah dan Hakim Abdul Jalali Wal Ikrom, serta seluruh keluarga besar yang telah banyak memberikan dorongan, baik moral maupun material dalam penyelesaian buku tugas akhir ini.
2. Bapak Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan serta arahan sehingga buku tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Arina Wida Imania yang telah memberikan dukungan moril dan senantiasa memberikan semangat untuk segera menyelesaikan tugas akhir.
4. Bagus Kurniawan dan Rifki Dwisetoyo sebagai rekan seperjuangan tugas akhir ini.
5. Sahabat “ngompek” Gaza, Gendut, Jember, Jatu, Sotob, Kimbum, Feris, Erpan, Latip, Dapuk, Datuk, Subur, Rawon, Pendik, dan Bintang yang telah memberikan warna selama menjalani perkuliahan di Teknik Elektro.
6. Mas Miftah, Mas Hafiz, Mas Ari, seluruh asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik yang selalu memberikan semangat dan doa serta bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Hamid, dan Abi yang telah menjadi rekan satu kost yang baik hingga tercipta suasana kondusif untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Enrico, Ajeng, Fafa, Tatak, Salman, serta seluruh anggota perkom kolaborasi dan perkom berani yang selalu memberikan inspirasi dan pikiran baru untuk menjalani kehidupan perkuliahan.

Penulis pun memohon atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4

BAB 2 BOOST CONVERTER MENGGUNAKAN TRANSFORMATOR FREKUENSI TINGGI UNTUK APLIKASI PHOTOVOLTAIC

2.1 Boost Converter	5
2.1.1 Boost Converter Konvensional	6
2.1.2 Boost Converter Menggunakan Transformator	10
2.1.2.1 Inverter	11
2.1.2.2 Rectifier	13
2.2 Transformator Frekuensi Tinggi	16
2.3 Photovoltaic	19

BAB 3 DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI

3.1 Desain Boost Converter	23
3.1.1 Frekuensi dan Duty Cycle	24
3.1.2 Penentuan Parameter Rangkaian	24
3.1.2.1 Parameter Inverter	24
3.1.2.2 Parameter Rectifier	25
3.1.2.3 Parameter Beban	26

3.2 Desain dan Implementasi Transformator Frekuensi Tinggi..	27
3.3 Simulasi Boost Converter Terhubung ke Jala-jala	35
3.4 Implementasi Boost Converter.....	37
3.4.1 Saklar Semikonduktor dan Optocoupler	38
3.4.2 Dioda	39

BAB 4 HASIL PENGUJIAN BOOST CONVERTER DAN ANALISIS DATA

4.1 Deskripsi Boost Converter	41
4.2 Hasil Pengujian Boost Converter menggunakan Transformator Frekuensi Tinggi	42
4.2.1 Pengujian Inverter	42
4.2.2 Pengujian Transformator Frekuensi Tinggi.....	45
4.2.3 Pengujian Rectifier	46
4.2.4 Pengujian Boost Converter Menggunakan Photovoltaic	48
4.2.5 Efisiensi Boost Converter.....	49

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51

DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN	55
RIWAYAT HIDUP.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagan sistem <i>photovoltaic</i> terhubung jala-jala.	5
Gambar 2.2	Rangkaian <i>boost converter</i> konvensional	6
Gambar 2.3	Kondisi <i>boost converter</i> (a) terbuka (b) tertutup	6
Gambar 2.4	Bentuk gelombang tegangan dan arus pada masing-masing komponen <i>boost converter</i>	8
Gambar 2.5	Bagan sistem <i>photovoltaic</i> menggunakan <i>boost converter</i> dengan transformator.....	11
Gambar 2.6	Rangkaian <i>inverter fullwave</i>	11
Gambar 2.7	Kondisi rangkaian dengan penyaklaran (a) Q1&Q4 on (b) Q2&Q3 on.....	12
Gambar 2.8	Bentuk sinyal penyaklaran dan tegangan keluaran <i>inverter</i>	13
Gambar 2.9	Rangkaian <i>rectifier full bridge</i> (a) fase positif (b) fase negatif	14
Gambar 2.10	Bentuk tegangan masukan dan keluaran <i>rectifier</i>	16
Gambar 2.11	Transformator (a) tipe inti (b) tipe cangkang.....	17
Gambar 2.12	Rangkaian ekivalen satu sel PV	19
Gambar 2.13	Kurva karakteristik P-V <i>photovoltaic</i> dengan beberapa nilai <i>irradiance</i> yang berbeda	20
Gambar 3.1	<i>Ferrite</i> PC47EER49-Z.....	27
Gambar 3.2	Dimensi inti transformator PC47EER49-Z	28
Gambar 3.3	(a) susunan belitan transformator (b) penampang melintang inti transformator	34
Gambar 3.4	Skema simulasi sistem <i>photovoltaic</i> terhubung jala-jala	35
Gambar 3.5	Gelombang arus dan tegangan pada komponen MOSFET	35
Gambar 3.6	Sinyal penyaklaran dan tegangan keluaran pada <i>inverter</i>	36
Gambar 3.7	Tegangan dan arus masukan transformator	36
Gambar 3.8	Tegangan primer dan tegangan sekunder pada transformator	37
Gambar 3.9	Tegangan keluaran <i>rectifier</i>	37
Gambar 3.10	Simulasi sistem <i>photovoltaic</i> terhubung ke jala-jala....	38
Gambar 3.11	Implementasi <i>booct converter</i>	39
Gambar 4.1	Sinyal penyaklaran <i>non-inverting</i> dan <i>inverting</i> serta tegangan keluaran <i>inverter</i>	43

Gambar 4.2	<i>Deadtime</i> pada implementasi <i>inverter</i>	43
Gambar 4.3	<i>Switching loss</i> pada <i>inverter</i>	44
Gambar 4.4	Tegangan primer dan tegangan sekunder pada transformator (a) tanpa beban (b) berbeban.....	45
Gambar 4.5	Tegangan dan arus primer pada transformator	46
Gambar 4.6	(a) Nilai tegangan keluaran <i>rectifier</i> (b) Nilai <i>ripple</i> tegangan keluaran <i>rectifier</i>	47
Gambar 4.7	Pengujian <i>boost converter</i> menggunakan <i>photovoltaic</i>	48
Gambar 4.8	Efisiensi <i>boost converter</i> pada berbagai kondisi beban ($V_o=350V$)	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penyaklaran <i>inverter</i>	12
Tabel 2.2	Spesifikasi <i>photovoltaic</i>	21
Tabel 3.1	Spesifikasi desain <i>boost converter</i>	23
Tabel 3.2	Penyaklaran <i>inverter</i>	24
Tabel 3.3	Parameter <i>inverter</i>	25
Tabel 3.4	Parameter <i>rectifier</i>	26
Tabel 3.5	Spesifikasi PC47EER49-Z.....	28
Tabel 3.6	Parameter transformator	31
Tabel 4.1	Deskripsi implementasi <i>boost converter</i>	41

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Boost Converter merupakan salah satu jenis konverter DC-DC yang digunakan untuk menaikkan *level* tegangan [1]. *Boost converter* banyak digunakan dalam sistem *photovoltaic* (PV), *level* tegangan yang dihasilkan sistem *photovoltaic* dinaikkan menggunakan *boost converter* hingga mencapai *level* tegangan yang cukup untuk terhubung dengan *grid*. Pada *boost converter* konvensional, sistem *photovoltaic* terhubung secara elektrik dengan *grid*, sehingga apabila terjadi gangguan pada *input boost converter* gangguan tersebut akan memengaruhi *grid*. Sistem isolasi diperlukan untuk mengatasi permasalahan tersebut [1].

Transformator dapat digunakan untuk mengisolasi *input boost converter* dengan *grid*, hal ini dikarenakan sistem kerja transformator yang menggunakan prinsip induksi sehingga sistem *photovoltaic* tidak terhubung secara elektrik dengan *grid* [2]. Transformator dengan frekuensi 50Hz memiliki kelemahan yaitu dimensinya besar, sehingga membutuhkan tempat yang luas dan tidak ekonomis.

Dalam Tugas Akhir ini, digunakan *boost converter* dengan transformator frekuensi tinggi untuk menaikkan *level* tegangan sistem *photovoltaic* sebelum terhubung ke *inverter* dan terhubung ke jala-jala. Selain itu, *boost converter* dengan transformator frekuensi tinggi digunakan sebagai isolasi saat *input boost converter* mengalami gangguan. Frekuensi tinggi dipilih agar transformator yang digunakan memiliki volume yang kecil [3].

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Topologi *boost converter* dengan transformator frekuensi tinggi.
2. *Switching bridge* untuk menghasilkan tegangan AC frekuensi tinggi.
3. Transformator frekuensi tinggi untuk isolasi sistem *photovoltaic* terhubung jala-jala.
4. *Rectifier* untuk menghasilkan tegangan keluaran DC dengan ripple tegangan yang kecil.

1.3 Tujuan

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan *Boost converter* menggunakan Transformator Frekuensi Tinggi.
2. Mendesain dan mengimplementasikan *Boost converter* menggunakan Transformator Frekuensi Tinggi untuk isolasi sistem *photovoltaic* terhadap jala-jala.
3. Membandingkan dan menganalisis hasil implementasi *Boost converter* menggunakan Transformator Frekuensi Tinggi dengan hasil dari desain dan simulasi pada perangkat lunak.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Implementasi alat hanya dilakukan untuk rangkaian DC *boost*.
2. Implementasi alat disesuaikan dengan komponen-komponen yang terdapat pada pasaran dan peralatan di laboratorium konversi energi listrik.
3. Pengujian alat menggunakan sumber tegangan DC *variable* dan modul *photovoltaic* yang terdapat pada laboratorium konversi energi listrik.
4. Semua analisis dan perhitungan dilakukan dalam kondisi *steady state*.

1.5 Metodologi

Metode penelitian yang digunakan pada Tugas Akhir ini diawali dengan mempelajari topologi *Boost converter* menggunakan Transformator Frekuensi Tinggi. Termasuk rangkaian kontrol untuk menghasilkan tegangan AC frekuensi tinggi menggunakan saklar *single PWM (Pulse Wide Modulation)*.

Boost converter dengan transformator frekuensi tinggi disimulasikan menggunakan perangkat lunak, simulasi dilakukan berdasarkan literatur yang telah dibaca oleh penulis. Terdapat pertimbangan dan perubahan dari nilai komponen yang digunakan serta *duty cycle* sehingga sesuai tegangan keluaran konverter sesuai dengan apa

yang diinginkan penulis. Komponen yang digunakan adalah komponen ideal sehingga rugi-rugi lain tidak diperhitungkan.

Hasil simulasi diimplementasi dengan membuat rangkaian boost converter dengan transformator frekuensi tinggi, dilakukan pemilihan dan pembelian komponen. Komponen yang digunakan yaitu sumber tegangan berupa *photovoltaic*, Saklar MOSFET, Kapasitor, Dioda dan Transformator. Setelah itu, dilakukan pengujian dan pengukuran tegangan serta arus pada alat yang telah dibuat yaitu *boost converter* DC-DC dengan transformator frekuensi tinggi. Konverter akan diuji langsung dengan terhubung *Photovoltaic* dan dihubungkan pada beban resistif.

Data yang didapatkan dari hasil pengujian akan dianalisa dan dibandingkan dengan simulasi yang telah dibuat. Hasil analisa diperlukan untuk pengambilan kesimpulan, semua hasil yang telah dikerjakan di atas ditulis menjadi sebuah buku Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini terbagi atas lima bagian dan masing-masing bab terurai sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi Tugas Akhir ini.

BAB 2 Dasar Teori

Bab ini berisi teori penunjang yang membahas tentang *boost converter* menggunakan transformator frekuensi tinggi, teknik penyaklaran, dan sistem *photovoltaic*.

BAB 3 Desain, Simulasi, dan Implementasi

Bab ini berisi mengenai perancangan *boost converter* secara matematis, simulasi menggunakan perangkat lunak, dan implementasi *boost converter* menggunakan transformator frekuensi tinggi untuk aplikasi sistem *photovoltaic*.

BAB 4 Pengujian dan Analisis Data

Bab ini berisi pengujian dan analisis data terhadap hasil pengujian *boost converter* menggunakan transformator frekuensi tinggi untuk aplikasi sistem *photovoltaic*.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis yang dilakukan dan berisi tentang saran untuk pengembangan selanjutnya.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari pelaksanaan Tugas Akhir diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain:

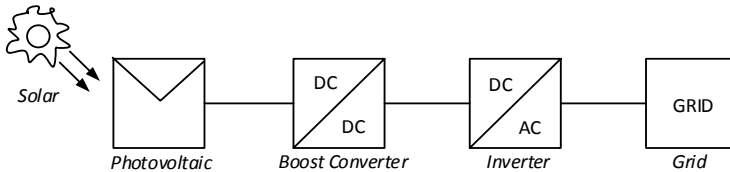
1. Menjadi referensi untuk penelitian dan pengembangan konverter khususnya mengenai *boost converter* menggunakan transformator frekuensi tinggi.
2. Menjadi referensi untuk pengembangan sistem *photovoltaic* yang terhubung ke jala-jala.
3. Menjadi referensi bagi mahasiswa yang hendak mengambil masalah serupa untuk Tugas Akhir.

BAB 2

BOOST CONVERTER MENGGUNAKAN TRANSFORMATOR FREKUENSI TINGGI UNTUK APLIKASI PHOTOVOLTAIC

2.1 *Boost Converter*

Boost Converter merupakan rangkaian penaik tegangan DC-DC [1]. Nilai tegangan keluaran dapat dinaikkan dengan cara mengubah nilai *duty cycle* pada pensaklaran rangkaian *boost converter*. Salah satu penerapan rangkaian *boost converter* adalah pada sistem *photovoltaic* (PV) yang terhubung dengan jala-jala. Tegangan PV dinaikkan menggunakan *boost converter* hingga mencapai nilai tegangan yang cukup sebagai tegangan masukan *inverter*, selanjutnya *inverter* akan mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC untuk terhubung dengan jala-jala [4]. Skema rangkaian aplikasi PV terhubung grid dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bagan sistem *photovoltaic* terhubung jala-jala.

Di negara Indonesia, standar tegangan listrik yang digunakan adalah 220V. Sehingga *Inverter* harus mampu menghasilkan sinyal AC dengan nilai tegangan sebesar 220V, oleh karena itu dibutuhkan tegangan DC pada sisi *input inverter* sebesar 311V, nilai ini merupakan nilai tegangan maksimum yang diperoleh dengan cara mengalikan 220V dengan akar 2 sesuai persamaan (2.1).

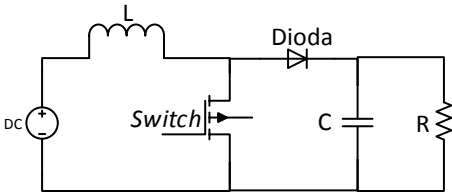
$$V_{max} = V\sqrt{2} \quad (2.1)$$

Nilai tegangan DC yang dihasilkan oleh sumber listrik *photovoltaic* relatif kecil yaitu hanya sekitar 17,5V, sehingga untuk menghasilkan nilai tegangan DC sebesar 311V maka dibutuhkan

rangkaian penaik tegangan *boost converter*. *Duty cycle* pada *boost converter* diatur sedemikian rupa sehingga dapat dihasilkan nilai tegangan keluaran sesuai yang diharapkan.

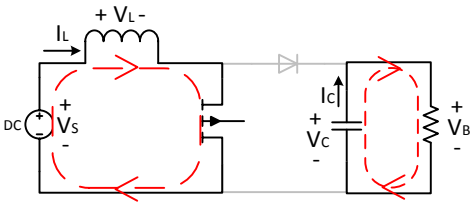
2.1.1 *Boost Converter Konvensional*

Pada umumnya rangkaian *boost converter* terdiri dari sumber tegangan DC, induktor, saklar semikonduktor, dioda, kapasitor dan beban resistif (R). Rangkaian *boost converter* konvensional ditunjukkan pada gambar 2.2.

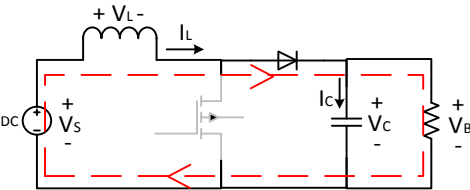


Gambar 2.2 Rangkaian *boost converter* konvensional

Besaran nilai tegangan keluaran pada *boost converter* dapat diperoleh dengan cara menganalisis kondisi rangkaian pada saat saklar terbuka dan kondisi saklar tertutup seperti ditunjukkan pada gambar 2.3.



(a)



(b)

Gambar 2.3 Kondisi *boost converter* (a) terbuka (b) tertutup

Pada saat saklar konduksi seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 (a), arus dari sumber DC tidak mengalir menuju beban, melainkan hanya mengalir pada induktor. Induktor mengalami pengisian muatan hingga besarnya tegangan pada induktor akan sama dengan besaran tegangan sumber DC, kondisi ini dapat dirumuskan dengan persamaan (2.2).

$$V_L = V_S \quad (2.2)$$

Arus pada induktor juga mengalami kenaikan karena kondisi konduksi saklar, arus kapasitor naik dari I_{Lmin} hingga mencapai I_{Lmax} . Kenaikan atau perubahan arus induktor disebut sebagai *ripple* arus induktor. Pada kondisi ini pula kapasitor mengalami *discharge* muatan menuju ke beban. Sehingga tegangan kapasitor menurun dari V_{Cmax} hingga V_{Cmin} , perubahan inilah yang disebut sebagai *ripple* tegangan kapasitor.

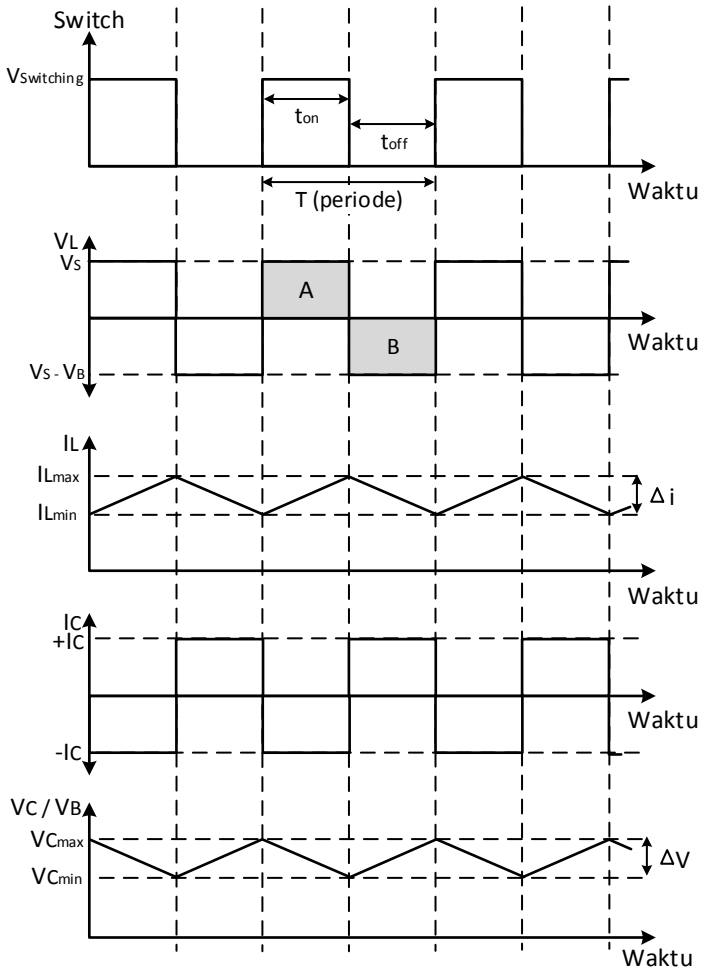
Kondisi sebaliknya saat saklar terbuka seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 (b), arus dari sumber DC dapat mengalir menuju kapasitor dan beban, kapasitor mengalami pengisian (*charge*) muatan. Pada kondisi ini induktor mengalami pengosongan muatan sehingga besarnya tegangan pada beban (V_B) merupakan tegangan yang berasal dari sumber DC dan pengosongan muatan pada induktor. Kondisi tegangan pada induktor saat pengosongan muatan dapat dirumuskan sesuai persamaan (2.3).

$$V_L = V_S - V_B \quad (2.3)$$

Arus induktor mengalami penurunan dari yang semula mencapai nilai I_{Lmax} turun kembali menuju nilai I_{Lmin} . Sedangkan komponen kapasitor akan mengalami kenaikan tegangan akibat proses pengisian muatan sehingga tegangan kapasitor naik dari V_{Cmin} hingga mencapai nilai tegangan V_{Cmax} . Perubahan nilai tegangan kapasitor terus terjadi selama proses penyalaan dan pemadaman saklar secara terus menerus hingga tercapai nilai tegangan DC yang memiliki suatu *ripple* tertentu.

Beban resistif terpasang paralel dengan kapasitor sehingga nilai tegangan serta bentuk gelombang dari tegangan keluaran akan menyerupai bentuk tegangan kapasitor.

Bentuk gelombang tegangan dan arus pada masing-masing komponen *boost converter* pada saat dioperasikan ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bentuk gelombang tegangan dan arus pada masing-masing komponen *boost converter*

Pada gambar 2.4 ditunjukkan bentuk gelombang penyaklaran, tegangan induktor, arus induktor, arus kapasitor, serta tegangan kapasitor atau tegangan beban. Kondisi penyaklaran yang terus berubah menyebabkan komponen induktor dan kapasitor mengalami kondisi

pengisian dan pengosongan muatan secara bergantian sehingga timbul nilai *ripple* arus induktor dan *ripple* tegangan kapasitor.

Dengan menggunakan metode *voltage-second balance*, maka besarnya nilai tegangan pada induktor dapat dirumuskan sesuai persamaan (2.4).

$$\int_0^T V_L dt = 0 \quad (2.4)$$

Nilai integral tegangan induktor dalam satu periode merupakan jumlahan dari dua kondisi induktor yaitu saat pengisian muatan dan pengosongan muatan, sehingga pada gambar 2.4 bagian tegangan induktor hasil penjumlahan luasan A dan luasan B adalah 0 sesuai persamaan (2.4) [5]. Kondisi ini dapat dituliskan dalam persamaan (2.5).

$$Luas A + Luas B = 0 \quad (2.5)$$

$$\int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^T V_L dt = 0$$

$$t_{on} \cdot (V_S) + (T - t_{on}) \cdot (V_S - V_B) = 0$$

$$t_{on} \cdot (V_S) + t_{off} \cdot (V_S - V_B) = 0$$

$$V_B = \frac{(t_{on} + t_{off})}{t_{off}} \cdot V_S \quad (2.6)$$

Perbandingan nilai antara waktu saklar menyala dengan periode pensaklaran (T) disebut *duty cycle* (D), kondisi ini dijelaskan pada persamaan (2.7).

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.7)$$

$$t_{on} = T \cdot D \quad (2.8)$$

Jumlahan dari lama waktu saklar menyala dan lama waktu saklar mati disebut periode, sesuai persamaan (2.9).

$$T = t_{on} + t_{off} \quad (2.9)$$

Dari persamaan (2.8) dan persamaan (2.9) dapat diperoleh persamaan (2.10).

$$\begin{aligned} T &= T \cdot D + t_{off} \\ t_{off} &= T - T \cdot D \\ t_{off} &= T(1 - D) \end{aligned} \tag{2.10}$$

Dengan melakukan substitusi persamaan (2.8) dan persamaan (2.10) ke persamaan (2.6). Maka persamaan (2.6) dapat diubah menjadi persamaan (2.11) seperti berikut:

$$\begin{aligned} V_B &= \left(\frac{T \cdot D + T \cdot (1 - D)}{T \cdot (1 - D)} \right) \cdot V_S \\ V_B &= V_S \left(\frac{1}{1 - D} \right) \end{aligned} \tag{2.11}$$

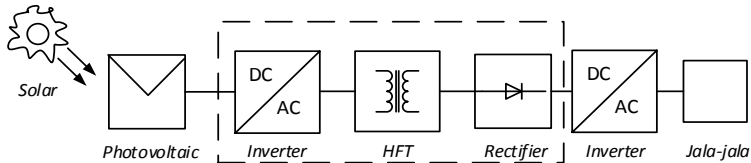
Dari persamaan (2.11) dapat diketahui bahwa besaran nilai tegangan keluaran *boost converter* dipengaruhi oleh besarnya nilai *duty cycle* dan nilai tegangan sumber DC. Tegangan keluaran *boost converter* dapat diperbesar dengan cara memperbesar nilai *duty cycle* atau dengan memperbesar nilai tegangan sumber DC.

2.1.2 *Boost Converter* Menggunakan Transformator

Dalam aplikasi sistem *photovoltaic* biasanya digunakan *boost converter* konvensional. Dengan cara ini apabila bagian sumber DC *boost converter* mengalami gangguan maka akan memengaruhi *grid*. Oleh karena itu dibutuhkan *boost converter* yang mampu mengisolasi hubungan sumber DC dengan *grid* ketika terjadi gangguan. *Boost converter* menggunakan transformator dapat digunakan sebagai isolasi karena prinsip kerja trafo yaitu menggunakan prinsip induksi.

Transformator membutuhkan *input* tegangan AC agar timbul fluks yang akan menginduksi bagian sekunder, sehingga dibutuhkan *inverter* untuk mengubah tegangan DC dari *photovoltaic* menjadi tegangan AC sebagai *input* transformator. Setelah itu dibutuhkan penyearah atau *Rectifier* untuk mengubah tegangan AC keluaran

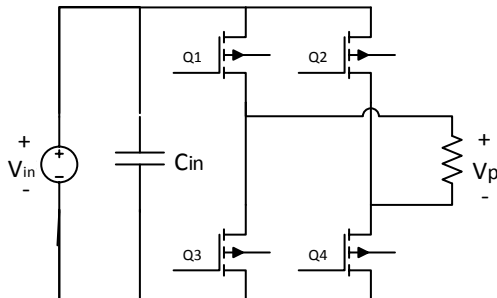
transformator menjadi tegangan DC. Skema aplikasi *photovoltaic* menggunakan *boost converter* dengan transformator ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Bagan sistem *photovoltaic* menggunakan *boost converter* dengan transformator

2.1.2.1 Inverter

Inverter merupakan rangkaian pengubah sinyal DC menjadi AC. Cara mengubahnya yaitu menggunakan saklar semikonduktor yang diatur sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan sinyal AC. Rangkaian inverter dibagi menjadi dua yaitu *halfwave* dan *fullwave*. Inverter yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *inverter fullwave* seperti ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rangkaian *inverter fullwave*

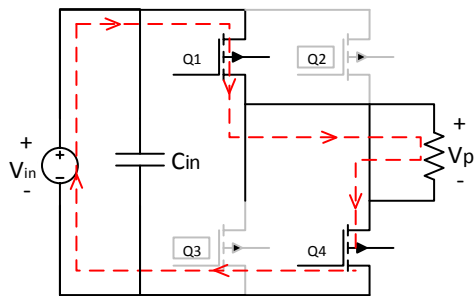
Tegangan masukan *inverter* (V_{in}) merupakan tegangan yang berasal dari sumber DC *photovoltaic*, sedangkan tegangan keluaran *inverter* merupakan tegangan yang akan digunakan untuk menyuplai bagian primer transformator (V_p). Pada gambar 2.6 terdapat empat buah saklar semikonduktor yang digunakan untuk mengubah sumber DC menjadi AC [7]. Keempat saklar semikonduktor diatur penyalanyaannya

dengan menggunakan sinyal kontrol. Tegangan pada beban (resistor) adalah tegangan AC yang mempunyai nilai *peak* $+V_{in}$ dan $-V_{in}$ sesuai pada tabel 2.1.

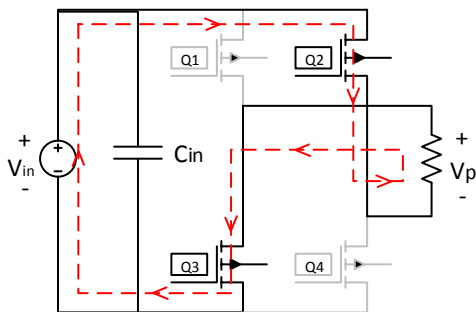
Tabel 2.1 Penyaklaran *inverter*

No.	Kondisi	Tegangan output
1	Q1, Q4 on dan Q2, Q3 off	$+V_{in}$
2	Q2, Q3 on dan Q1, Q4 off	$-V_{in}$

Kondisi rangkaian sesuai dengan tabel 2.1 ditunjukkan pada gambar 2.7.



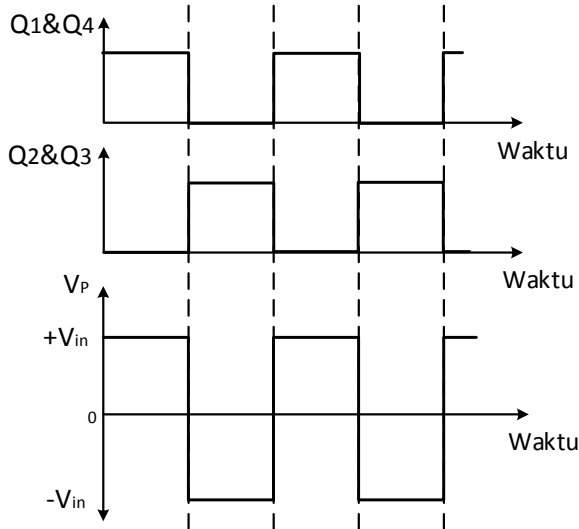
(a)



(b)

Gambar 2.7 Kondisi rangkaian dengan penyaklaran (a) Q1 & Q4 on (b) Q2 & Q3 on.

Dengan cara penyaklaran ini dapat diperoleh tegangan keluaran (beban) yang ditunjukkan pada gambar 2.8.

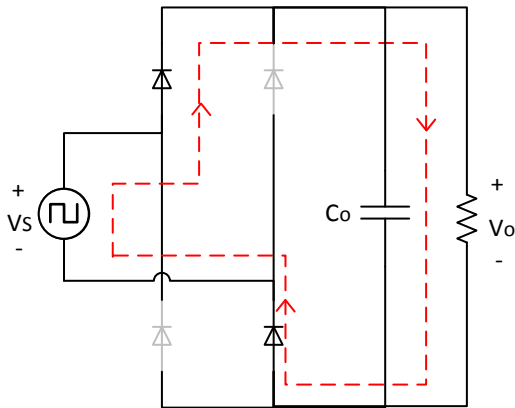


Gambar 2.8 Bentuk sinyal penyaklaran dan tegangan keluaran *inverter*

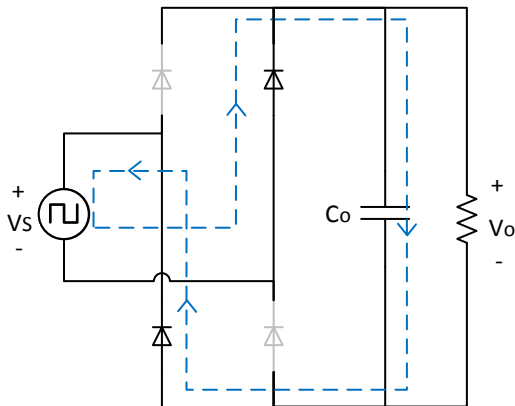
2.1.2.2 Rectifier

Tegangan AC dapat diubah menjadi tegangan DC dengan menggunakan *rectifier*. Kapasitor dipasang pada sisi keluaran *rectifier* sebagai penyimpan tegangan sehingga rangkaian *rectifier* menghasilkan tegangan DC dengan nilai tegangan sama dengan tegangan puncak dari tegangan AC [4]. Terdapat dua jenis *rectifier* yaitu *fullbridge* dan *halfbridge*. Jenis *rectifier* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *fullbridge rectifier*.

Rangkaian *fullbridge rectifier* memiliki empat buah dioda yang berfungsi menyearahkan gelombang AC sehingga menjadi gelombang DC. Tegangan AC mempunyai dua polaritas yaitu positif dan negatif, oleh karena itu polaritas negatif tegangan AC harus dibalik polaritasnya agar menjadi tegangan DC. Pada *rectifier* fasa positif maupun fasa negatif tegangan AC akan menghasilkan tegangan keluaran dengan polaritas yang sama, kondisi rangkaian *rectifier* saat dioperasikan ditunjukkan pada gambar 2.9.



(a)



(b)

Gambar 2.9 Rangkaian *fullbridge rectifier* (a) fase positif (b) fase negatif

Pada gambar 2.9 terlihat bahwa rangkaian *rectifier* terdiri dari empat buah dioda yang bekerja secara bergantian selama fase positif dan fase negatif dari sumber tegangan AC yang pada tugas akhir ini digunakan gelombang AC berbentuk gelombang kotak. Kapasitor pada *rectifier* digunakan untuk mengurangi *ripple* tegangan yang dihasilkan *rectifier*.

Nilai tegangan keluaran *rectifier* (V_o) merupakan nilai *root mean square (rms)* dari tegangan AC masukan *rectifier* (V_s). Besarnya nilai V_{rms} dapat dihitung melalui persamaan (2.12).

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_s^2 dt} \quad (2.12)$$

Tegangan masukan *rectifier* merupakan tegangan AC dengan bentuk gelombang kotak, sehingga besarnya tegangan keluaran *rectifier* dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_o = V_{rms}$$

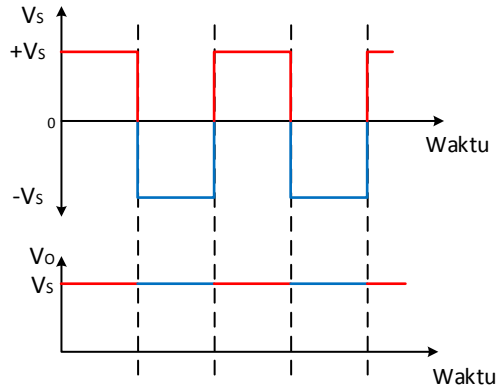
$$V_o = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\int_0^{t_{on}} V_s^2 dt + \int_{t_{on}}^T (-V_s)^2 dt \right)}$$

$$V_o = \sqrt{\frac{1}{T} (t_{on} \cdot V_s^2 + (T - t_{on}) \cdot V_s^2)}$$

$$V_o = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot V_s^2 \cdot T}$$

$$V_o = V_s$$

Didapatkan bahwa nilai tegangan DC yang dihasilkan oleh rangkaian *rectifier* adalah senilai dengan tegangan maksimal dari sumber tegangan AC. Persamaan ini hanya berlaku apabila gelombang AC yang digunakan merupakan gelombang AC dengan bentuk gelombang sinyal kotak. Pada kondisi ideal, tegangan DC yang dihasilkan rangkaian *rectifier* tidak memiliki ripple tegangan. Bentuk gelombang tegangan keluaran *rectifier* ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Bentuk tegangan masukan dan keluaran *rectifier*

Rectifier pada tugas akhir ini digunakan untuk menyearahkan tegangan keluaran transformator yang berupa tegangan AC. Tegangan *rectifier* selanjutnya akan digunakan sebagai tegangan masukan *inverter* yang terhubung dengan jala-jala.

2.2 Transformator Frekuensi Tinggi

Transformator merupakan sebuah peralatan yang dapat mengubah tegangan listrik AC dari suatu *level* menjadi tegangan listrik AC dengan *level* yang berbeda. Transformator terdiri dari dua belitan yaitu belitan primer dan belitan sekunder [5].

Berdasarkan fungsinya transformator dibagi menjadi dua yaitu transformator *step up* dan *step down*. Transformator *step up* digunakan untuk menaikkan tegangan sedangkan transformator *step down* digunakan untuk menurunkan tegangan. Perubahan *level* tegangan dipengaruhi oleh jumlah belitan sesuai persamaan (2.13).

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} \quad (2.13)$$

Keterangan:

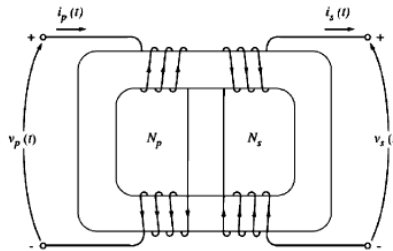
V_P = Tegangan primer

V_S = Tegangan sekunder

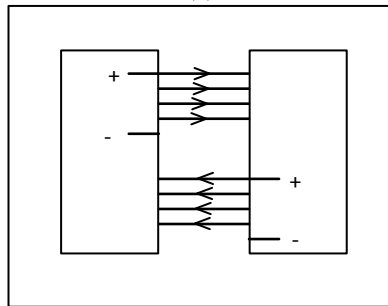
N_P = Jumlah belitan pada sisi primer

N_S = Jumlah belitan pada sisi sekunder

Berdasarkan konstruksinya transformator dibagi menjadi dua yaitu tipe cangkang (*shell type*) dan tipe inti (*core type*). Transformator tipe inti merupakan transformator yang inti besinya dikelilingi oleh belitan, sedangkan transformator tipe cangkang merupakan transformator yang inti besinya mengelilingi belitan, perbedaan konstruksi transformator ditunjukkan pada gambar 2.11.



(a)



(b)

Gambar 2.11 (a) Transformator tipe inti (b) Transformator tipe cangkang

Transformator yang digunakan pada tugas akhir ini adalah transformator *step up* dengan konstruksinya bertipe cangkang (*Shell type*). Pada inti besi berbahan ferromagnetis (B) dililitkan belitan sebanyak (N). Apabila belitan transformator mempunyai tegangan AC sebesar (E) dengan frekuensi (f), maka di dalam inti besi akan mengalir fluks magnet (ϕ). Hubungan V dan ϕ untuk tegangan AC berbentuk sinus ditunjukkan pada persamaan (2.14).

$$E = 4,44 \cdot f \cdot n \cdot \phi \quad (2.14)$$

Besarnya nilai fluks yang mengalir pada inti trafo merupakan perkalian antara medan magnet dengan luas penampang transformator, sesuai persamaan (2.15).

$$\phi = B \cdot A \quad (2.15)$$

Substitusi persamaan (2.14) ke persamaan (2.15), maka diperoleh persamaan (2.16).

$$E = 4.44 \cdot f \cdot n \cdot B \cdot A \quad (2.16)$$

Dari persamaan (2.16) terlihat bahwa frekuensi tegangan AC berbanding terbalik dengan luas penampang transformator. Semakin besar nilai frekuensi tegangan AC maka dimensi transformator semakin kecil. Oleh karena itu pada tugas akhir ini digunakan transformator frekuensi tinggi agar dimensi transformator kecil dan lebih ekonomis.

Hal-hal yang perlu diperhatikan saat melakukan desain transformator antara lain yaitu jumlah belitan minimal, kondisi saturasi inti transformator, dan besarnya arus maksimal yang akan melewati kumparan transformator. Sedangkan rugi daya pada transformator merupakan salah satu hal yang tidak bisa dihindari namun dapat dikurangi dengan cara melakukan desain dan teknik pembuatan transformator secara tepat. Nilai induktansi yang dihasilkan belitan transformator merupakan perkalian antara *inductance factor* dari suatu bahan inti dengan nilai kuadrat dari jumlah belitan yang digunakan sesuai dengan persamaan (2.17) [6].

$$L = A_l \cdot N^2 \quad (2.17)$$

Nilai induktansi dari suatu kumparan selanjutnya dapat digunakan dalam perhitungan nilai fluks yang mengalir dalam inti transformator yang akan digunakan. Besarnya nilai fluks yang mengalir pada inti transformator dapat dihitung melalui persamaan (2.18) [6].

$$\beta_{max} = \frac{L \cdot I_{Lmax}}{A_e \cdot N} \times 10^5 \quad (2.18)$$

Keterangan:

β_{max} = Kerapatan medan magnet (T)

A_e = Luas inti besi (cm²)

L = Nilai Induktor (H)

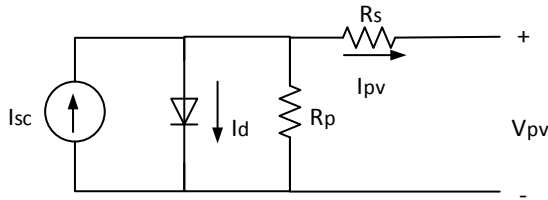
I_{Lmax} = Arus maksimum yang melewati induktor (A)

A_l = *Inductance Factor* (H)

N = Jumlah belitan

2.3 Photovoltaic

Salah satu sumber energi terbarukan adalah *Photovoltaic (PV)*. PV adalah peralatan listrik yang mampu mengonversi energi sinar matahari menjadi energi listrik. Rangkaian ekivalen dari satu *cell* PV ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Rangkaian ekivalen satu sel PV.

Keterangan:

I_{sc} = Arus hubung singkat

I_d = Arus dioda

R_s = Hambatan seri

R_p = Hambatan Paralel

I_{pv} = Arus PV

V_{pv} = Tegangan PV

Dalam aplikasinya PV biasa digunakan dalam banyak sel, hal ini dikarenakan satu sel PV hanya mampu menghasilkan tegangan $\pm 0.6V$. Sel-sel pada PV disusun secara seri dan paralel hingga membentuk suatu modul sel surya. Besarnya arus yang dihasilkan PV dinyatakan dalam persamaan (2.19) [8].

$$I_{pv} = I_{sc} - I_o \left(\exp \left[\frac{q \cdot V_d}{k \cdot T} \right] - 1 \right) - \left(\frac{V_d}{R_p} \right) \quad (2.19)$$

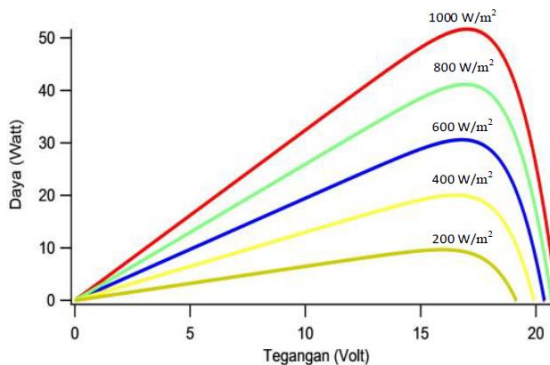
Keterangan:

q	= Muatan elektron	$(1,602 \times 10^{-19} \text{ C})$
k	= Konstanta Boltzman	$(1,381 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K})$
T	= <i>Junction Temperature</i>	$(^\circ\text{K})$
I_o	= <i>Reverse saturation current of p-n junction (diode)</i>	
V_d	= Tegangan dioda	(V)

Dari persamaan (2.19) diketahui bahwa arus yang dihasilkan PV dipengaruhi oleh suhu. Semakin besar suhu maka arus akan semakin kecil, sehingga daya yang dihasilkan oleh PV juga semakin kecil. Selain dipengaruhi oleh suhu, daya keluaran PV juga dipengaruhi oleh *irradiance* matahari (I), hal ini dikarenakan arus hubung singkat *photovoltaic* juga merupakan perkalian dari kerapatan arus (J) dengan *irradiance* matahari sesuai persamaan (2.20).

$$I_{sc} = J \cdot I \quad (2.20)$$

Dari persamaan (2.20) diketahui bahwa semakin besar nilai *irradiance* maka daya keluaran *photovoltaic* juga semakin besar, hal ini ditunjukkan pada gambar 2.13 yang merupakan kurva karakteristik P-V *photovoltaic* eISO1 50W pada suhu konstan 25°C .



Gambar 2.13 Kurva karakteristik P-V *photovoltaic* dengan beberapa nilai *irradiance* yang berbeda

Photovoltaic yang dijadikan sumber DC pada tugas akhir ini yaitu *photovoltaic* dengan merk elSOL, spesifikasi dari PV tersebut ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi *photovoltaic*

No	Spesifikasi	Nilai
1	Model	eS50236-PCM
2	Maximum Power	50Wp
3	Short Circuit Current	3.25A
4	Maximum Power Current	2.91A
5	Open Circuit Voltage	21.75V
6	Nominal Voltage	17.24V
7	Length	690mm
8	Width	660mm
9	Temperature	-40°C up to 50°C

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI

Dalam bab ini akan dibahas mengenai proses desain, simulasi, dan implementasi *boost converter* menggunakan transformator frekuensi tinggi untuk aplikasi sistem *photovoltaic*. Proses desain dilakukan dengan menghitung dan menentukan komponen-komponen yang akan digunakan pada implementasi alat. Simulasi dilakukan untuk memastikan bahwa konverter dapat bekerja sesuai yang diharapkan. Hasil dari desain dan simulasi ini kemudian digunakan sebagai dasar implementasi *boost converter*.

3.1 Desain *Boost Converter*

Proses desain diawali dengan penentuan parameter-parameter elektrik yang akan digunakan pada konverter. Parameter-parameter yang digunakan sebagai acuan dalam merancang *boost converter* menggunakan transformator frekuensi tinggi ditunjukkan pada tabel 3.1. Penentuan parameter ini berdasarkan pada spesifikasi dan peralatan yang ada pada laboratorium.

Tabel 3.1 Spesifikasi desain *boost converter*

Parameter	Nilai
Daya keluaran	50 Watt
Tegangan keluaran	350 Volt
Tegangan masukan	17.5 Volt
Perbandingan belitan transformator	1 : 20
Frekuensi penyaklaran	31,25 kHz
Ripple Tegangan keluaran	1%

Daya keluaran ditentukan sebesar 50 watt karena *photovoltaic* yang digunakan sebagai sumber DC memiliki *rating* daya 50 watt. Sama halnya dengan nilai tegangan masukan yaitu 18 volt karena *rating* tegangan *photovoltaic* yang digunakan yaitu 17,24 volt. Nilai tegangan keluaran ditentukan sebesar 350 volt, karena kebutuhan nilai tegangan *output* konverter yang masuk pada *inverter* harus lebih dari 311 volt sesuai persamaan (2.1) [4]. Perbandingan belitan transformator menunjukkan nilai perbandingan belitan primer dan belitan sekunder,

nilai 1:20 diperoleh dari nilai perbandingan tegangan keluaran dan tegangan masukan *boost converter* sesuai persamaan (2.15).

3.1.1 Frekuensi dan *Duty Cycle*

Parameter frekuensi penyaklaran dipilih menggunakan frekuensi tinggi dengan mempertimbangkan ukuran dimensi transformator sesuai persamaan (2.18) dan juga mempertimbangkan nilai rugi daya pada transformator. Sementara sinyal penyaklaran yang digunakan merupakan sinyal *pulse width modulation* (PWM) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Sinyal PWM digunakan karena mudah untuk mengatur frekuensi maupun *duty cycle*-nya. Kondisi penyaklaran yang digunakan pada tugas akhir ini ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Penyaklaran *inverter*

Saklar	Frekuensi	<i>Duty Cycle</i>	Kondisi
Q1 dan Q4	31,25 kHz	50%	Non-Inverting
Q2 dan Q3	31,25 kHz	50%	Inverting

Saklar Q1, Q2, Q3, dan Q4 merupakan 4 buah saklar yang digunakan pada *inverter* sesuai gambar 2.7.

3.1.2 Penentuan Parameter Rangkaian

Terdapat beberapa rangkaian yang digunakan dalam tugas akhir ini. Di antaranya adalah *inverter*, transformator frekuensi tinggi, *rectifier*, dan beban. Masing-masing dari rangkaian tersebut perlu ditentukan parameter yang sesuai agar implementasi alat dapat menghasilkan hasil yang sesuai.

3.1.2.1 Parameter *Inverter*

Rangkaian *Inverter* yang digunakan dalam tugas akhir ini didesain agar dapat menghasilkan tegangan AC untuk tegangan masukan transformator. Rangkaian inverter terdiri dari empat buah mosfet beserta rangkaian *driver*-nya. Rangkaian *driver* mosfet terdiri dari optocoupler dan mikrokontroler menggunakan arduino UNO. Parameter rangkaian *inverter* yang digunakan tercantum pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Parameter *inverter*

Parameter	Nilai
Tegangan masukan (DC)	17.5 V
Tegangan keluaran (AC) (Vpp)	35 V
Mosfet	Ideal
Teknik <i>switching</i>	<i>Square wave</i>

Tegangan masukan *inverter* merupakan tegangan nominal dari *photovoltaic*, sedangkan tegangan keluaran *inverter* bernilai 35 V merupakan tegangan *peak to peak* dari +17.5V dan -17.5V. Parameter mosfet yang digunakan pada desain adalah ideal, sehingga tidak ada rugi daya pada proses penyaklaran (*switching loss*). Bentuk gelombang tegangan yang digunakan untuk penyaklaran *inverter* adalah gelombang kotak (*square wave*).

3.1.2.2 Parameter *Rectifier*

Rangkaian *rectifier* digunakan untuk menyearahkan tegangan keluaran transformator, keluaran dari *rectifier* adalah tegangan DC sebesar 1% dari 350 V atau 3,5 V. Sehingga parameter kapasitor dapat dihitung dari penurunan rumus berikut:

$$V_r = \frac{1}{C_o} \int_0^{t_{on}} i(t) dt$$

$$C_o = \frac{D.T.I}{V_r} \quad (3.1)$$

Besarnya nilai arus ditunjukkan pada persamaan (3.2)

$$I = \frac{V_o}{R} \quad (3.2)$$

Substitusi persamaan (3.1) ke persamaan (3.2) didapatkan persamaan (3.3)

$$C = \frac{D.T.V_o}{R.V_r} \quad (3.3)$$

Masukkan parameter yang telah ditentukan ke persamaan (3.3), maka diperoleh nilai C sebagai berikut:

$$C_{min} = \frac{0.5 \times \frac{1}{31250} \times 350}{2450 \times 3.5}$$

$$C_{min} = 65.3 \mu F$$

Parameter rangkaian *rectifier* yang digunakan tercantum pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Parameter *rectifier*

Parameter	Nilai
Tegangan masukan (AC) (Vpp)	700 V
Tegangan keluaran (DC)	350 V
Kapasitor	65.3uF
Dioda	Ideal

3.1.2.3 Parameter Beban

Rangkaian beban yang digunakan adalah beban yang bersifat resistif, beban didesain untuk daya 50 W dan tegangan 350 V. Nilai parameter beban yang digunakan dapat dihitung melalui persamaan (3.4).

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (3.4)$$

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{350^2}{50}$$

$$R = 2450 \Omega$$

Parameter beban yang digunakan adalah beban resistif sebesar 2450 Ω . Pada pengujian efisiensi, daya beban diubah sesuai daya keluaran yang akan diuji. Selain digunakan sebagai beban, rangkaian beban resistif juga digunakan untuk menghilangkan tegangan kapasitor setelah dioperasikan agar tidak berbahaya apabila tersentuh oleh manusia.

3.2 Desain dan Implementasi Transformator Frekuensi Tinggi

Transformator yang digunakan pada tugas akhir ini didesain untuk menaikkan tegangan sumber DC sebesar 17,5 V menjadi tegangan DC 350 V. Sehingga dibutuhkan desain perbandingan belitan yang tepat antara belitan primer dan belitan sekunder, jumlah minimal belitan primer yang digunakan dapat dihitung melalui penurunan persamaan (2.16) sehingga diperoleh persamaan (3.5)

$$N_p = \frac{E_p}{4,44.f.B_{max}.A_c} \quad (3.5)$$

Keterangan:

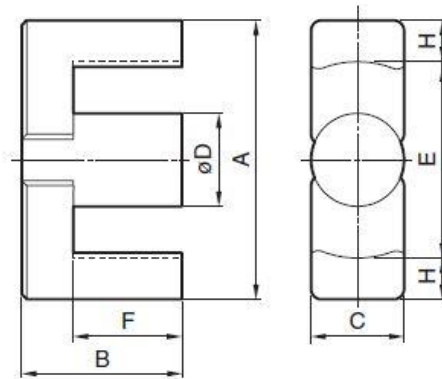
E_p	= GGL induksi bagian primer	(Volt rms)
f	= frekuensi <i>switching</i>	(Hertz)
B_{max}	= Medan magnet maksimum	(Tesla)
A_c	= <i>Cross-sectional Area</i>	(m ²)

Inti transformator yang digunakan harus mampu bekerja pada frekuensi yang tinggi (31,25kHz) sehingga dalam implementasi alat digunakan jenis inti transformator *ferrite* PC47EER49-Z seperti ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Ferrite* PC47EER49-Z

Ukuran dimensi transformator serta spesifikasi inti transformator yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.2 dan tabel 3.5 [11].



Gambar 3.2 Dimensi inti transformator PC47EER49-Z

Tabel 3.5 Spifikisai PC47EER49-Z

Parameter	Nilai
A	49,8 mm
B	19,3 mm
C	17,6 mm
øD	17,4 mm
E	36,4 mm
F	12,6 mm
H	6 mm
Core factor (C_1)	$0,395 \text{ mm}^{-1}$
Effective cross-sectional area (A_e)	231 mm^2
Effective magnetic path length (l_e)	91,3 mm
Effective core volume (V_e)	21100 mm^3
Weigh	110 g
Magnetic density (B)	200mT
Frekuensi max. (f)	100 kHz
Inductance Factor (A_l) without air-gap	6250 nH/N^2
Inductance Factor (A_l) with air-gap	500 nH/N^2

Pada kondisi ideal, nilai ggl induksi pada belitan transformator (E_p) sama dengan tegangan rms dari sumber AC (V_{rms}), Inti besi transformator yang digunakan adalah *ferrite* yang memiliki nilai B_{max} 200mT dan memiliki nilai *cross-sectional area* sebesar 213mm², sehingga jumlah belitan primer minimalnya adalah:

$$N_{Pmin} = \frac{17,5}{4,44 \times 31250 \times 0,2 \times 213 \times 10^{-6}}$$

$$N_{Pmin} = 3$$

Nilai belitan primer yang digunakan pada desain adalah 4 belitan. Dengan desain nilai transformasi 1:20, maka jumlah belitan sekunder dapat dicari dengan persamaan (2.15).

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

$$\frac{4}{N_s} = \frac{17.5}{350}$$

$$N_s = 80$$

Jumlah belitan sekunder transformator yang harus digunakan adalah 80 lilitan. Setelah jumlah belitan primer dan sekunder ditentukan, selanjutnya perlu ditentukan diameter kawat *email* yang akan digunakan untuk belitan transformator. Kawat *email* yang digunakan pada sisi primer transformer harus mampu dilewati arus masukan transformator, begitu juga halnya dengan kawat belitan pada sisi sekunder yang harus mampu dilewati besarnya arus keluaran transformator. Kemampuan hantar arus kawat belitan menjadi sangat penting untuk didesain karena apabila arus yang melewati lebih besar dari kemampuan kawat maka akan terjadi kerusakan pada bagian belitan transformator.

Pada bagian primer, tegangan masukan transformator berupa gelombang kotak dengan nilai tegangan *peak* adalah 17.5 V dan daya 50 W, sehingga besarnya arus dapat primer ditentukan sebagai berikut:

$$I_p = \frac{P}{V_p}$$

$$I_p = \frac{50}{17,5}$$

$$I_p = 2,86 \text{ A}$$

Belitan primer transformator harus mampu dilewati arus sebesar 2,86 A. Untuk memilih kawat *email* yang akan digunakan pada implementasi transformator, digunakan tabl kabel AWG yang berisi tentang ukuran diameter kawat beserta kemampuan hantar arus untuk masing-masing kawat. Pada desain transformator digunakan kawat berdiameter 0,8 mm untuk belitan primer, kawat *email* dengan ukuran diameter ini mampu dilewati arus sebesar 3,316A.

Setelah desain kawat bagian primer ditentukan, selanjutnya adalah desain untuk kawat bagian sekunder transformator, terlebih dahulu dihitung total arus yang akan melewati kumparan sekunder transformator. Bagian sekunder transformator menghasilkan tegangan kotak sebesar 350V dan daya 50W, sehingga besarnya arus sekunder dapat ditentukan sebagai berikut:

$$I_s = \frac{P}{V_s}$$

$$I_s = \frac{50}{350}$$

$$I_s = 142,8 \text{ mA}$$

Belitan sekunder transformator harus mampu dilewati arus sebesar 142,8 mA. Sesuai tabel kemampuan hantar arus kabel AWG maka pada desain transformator digunakan kawat berdiameter 0,2 mm untuk belitan sekunder, kawat *email* dengan ukuran diameter ini mampu dilewati arus sebesar 207 mA. Tabel kemampuan hantar arus AWG dapat dilihat pada bagian lampiran.

Parameter transformator yang didesain untuk tugas akhir ini tercantum pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Parameter transformator

Parameter	Nilai
Tegangan masukan AC (Vpp)	35 V
Tegangan keluaran AC (Vpp)	700 V
Daya	50 W
Jumlah belitan primer	4
Jumlah belitan sekunder	80
Diameter kawat primer	0,8 mm
Diameter kawat sekunder	0,2 mm
Belitan lapisan pertama	1 primer
Belitan lapisan kedua	40 sekunder
Belitan lapisan ketiga	2 primer
Belitan lapisan keempat	40 sekunder
Belitan lapisan kelima	1 primer
Frekuensi	31,25 kHz

Nilai induktansi yang dihasilkan dari proses desain adalah sebagai berikut:

$$L = A_l \times N^2$$

$$L = 6250 \times 10^{-9} \times 4^2$$

$$L = 100 \mu H$$

Besarnya nilai fluks yang mengalir pada inti besi transformator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\beta_{max} = \frac{L \times I_{Lmax}}{A_e \times N} \times 10^5$$

$$\beta_{max} = \frac{100 \times 10^{-6} \times 2,86}{2,31 \times 4} \times 10^7$$

$$\beta_{max} = 309,52 \text{ mT}$$

Besarnya fluks yang mengalir pada inti transformator melebihi kapasitas fluks maksimum yaitu 200mT. Untuk mengatasi permasalahan ini maka digunakan inti transformator yang memiliki celah udara (*air gap*), sehingga besarnya nilai induktansi menjadi:

$$L = A_l \times N^2$$

$$L = 500 \times 10^{-9} \times 4^2$$

$$L = 8 \mu H$$

Dan besarnya nilai fluks yang mengalir berubah menjadi seperti berikut:

$$\beta_{max} = \frac{L \times I_{Lmax}}{A_e \times N} \times 10^5$$

$$\beta_{max} = \frac{8 \times 10^{-6} \times 2,86}{2,31 \times 4} \times 10^7$$

$$\beta_{max} = 24,76 \text{ mT}$$

Nilai fluks yang mengalir tidak melebihi batas maksimum sehingga transformator tidak mengalami saturasi ketika dioperasikan pada kondisi sesuai desain.

Desain jumlah belitan primer adalah 4 belitan, apabila desain ini diimplementasikan maka nilai induktansi belitan primer sangat rendah sehingga nilai resistansi belitan sangat dominan dan menyebabkan rugi daya yang besar. Dengan mempertimbangkan ukuran dimensi transformator maka jumlah belitan primer pada implementasi alat adalah 24 belitan. Sehingga nilai induktansi yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$L = A_l \times N^2$$

$$L = 500 \times 10^{-9} \times 24^2$$

$$L = 0,288 \text{ mH}$$

Nilai fluks yang mengalir pada inti transformator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\beta_{max} = \frac{L \times I_{Lmax}}{A_e \times N} \times 10^5$$

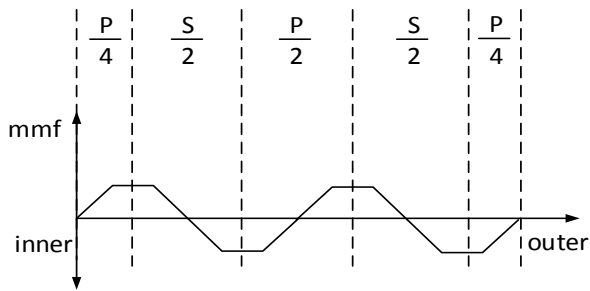
$$\beta_{max} = \frac{288 \times 10^{-6} \times 2,86}{2,31 \times 24} \times 10^7$$

$$\beta_{max} = 148,57 \text{ mT}$$

Fluks yang mengalir tidak melebihi kapasitas maksimum sehingga transformator masih dapat dioperasikan tanpa mengalami kondisi saturasi. Dengan jumlah belitan primer sebanyak 24 belitan, maka untuk mempertahankan rasio belitan jumlah belitan sekunder juga harus dinaikkan menjadi 480 belitan. Pada proses pembuatan transformator, saat bagian sekunder sudah mencapai 480 belitan masih terdapat tempat kosong pada lapisan tersebut, sehingga nilai belitan sekunder ditambah menjadi 502 belitan. Rasio transformator pada tahap desain yang semula bernilai 1:20 berubah menjadi 1:21 pada tahap implementasi.

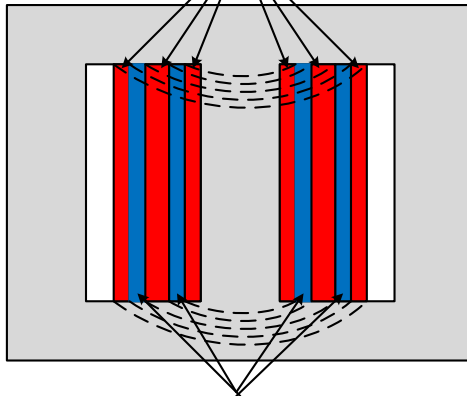
Pada tahap desain bagian primer transformator digunakan kawat *email* berdiameter 0,8mm dan pada bagian sekunder digunakan kawat *email* berdiameter 0,2mm. Dengan alasan keamanan komponen dan kemampuan transformator yang digunakan, maka dalam implementasi alat bagian primer trafo menggunakan kawat *email* berdiameter 1,2mm terdiri dari 6 buah kawat *email* berdiameter 0,2mm yang dipilin, sehingga bagian primer transformator mampu dilewati arus hingga sebesar 7,461A. Kawat *email* dipilin bertujuan untuk mengurangi rugi permukaan kulit (*skin effect*) yang mungkin timbul akibat pengoperasian pada frekuensi tinggi. Diameter kawat *email* sisi sekunder yang digunakan berdiameter 0,2mm sesuai perhitungan desain awal.

Selain penentuan perbandingan belitan dan diameter kawat yang digunakan, hal lain yang juga perlu diperhatikan adalah teknik pembelitan transformator agar rugi daya transformator rendah. Belitan kawat pada transformator tipe cangkang dibuat secara selang-seling antara belitan primer dan belitan sekunder, hal ini bertujuan untuk mengurangi rugi inti dengan mengurangi nilai mmf (*magnetomotive force*), susunan belitan transformator yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.3 [5].



(a)

Belitan Primer



Belitan Sekunder

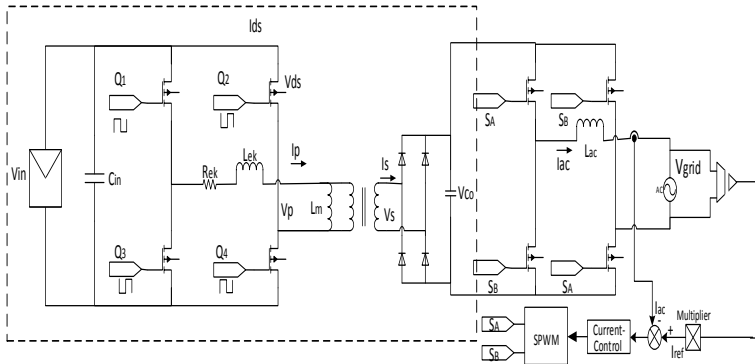
(b)

Gambar 3.3 (a) Susunan belitan transformator (b) penampang melintang inti transformator

Lapisan belitan transformator paling dalam merupakan belitan primer sebanyak seperempat dari total belitan primer, lapisan berikutnya merupakan belitan sekunder sebanyak setengah dari total belitan sekunder, dan seterusnya untuk lapisan berikutnya sesuai gambar 3.2.

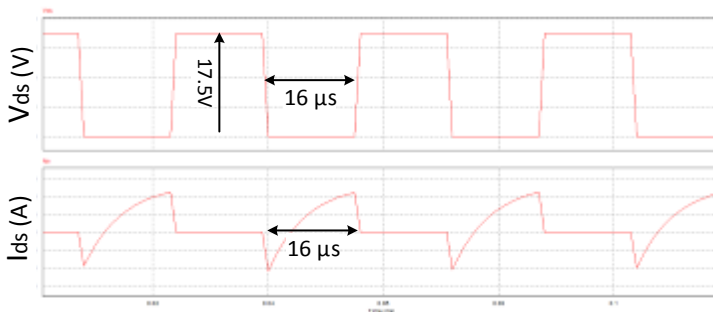
3.3 Simulasi *Boost Converter* terhubung ke Jala-jala

Simulasi dilakukan dengan menggunakan nilai parameter yang telah didesain kecuali bagian transformator, pada simulasi menggunakan transformator ideal dengan hanya mempertimbangkan perbandingan belitan transformator. Simulasi rangkaian *boost converter* dilakukan dengan skema rangkaian pada gambar 3.4.



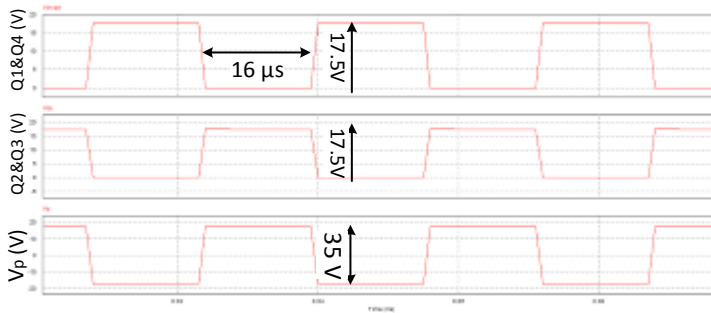
Gambar 3.4 Skema simulasi sistem *photovoltaic* terhubung jala-jala

Semua parameter yang digunakan pada simulasi merupakan nilai hasil desain dan implementasi transformator. Bentuk gelombang dan arus untuk tiap komponen saklar ditunjukkan pada gambar 3.5.



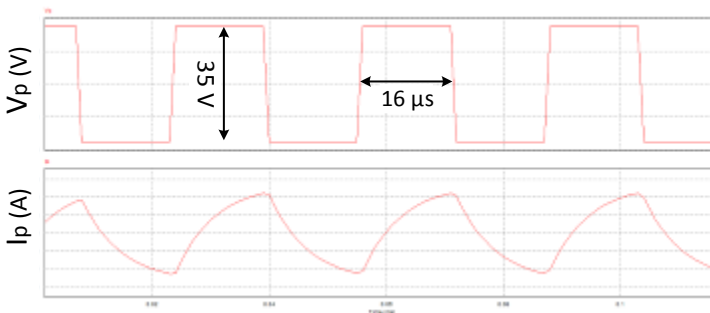
Gambar 3.5 Bentuk gelombang tegangan dan arus pada komponen penyaklaran

Hasil simulasi rangkaian bagian penyaklaran dan tegangan keluaran inverter ditunjukkan pada gambar 3.6.



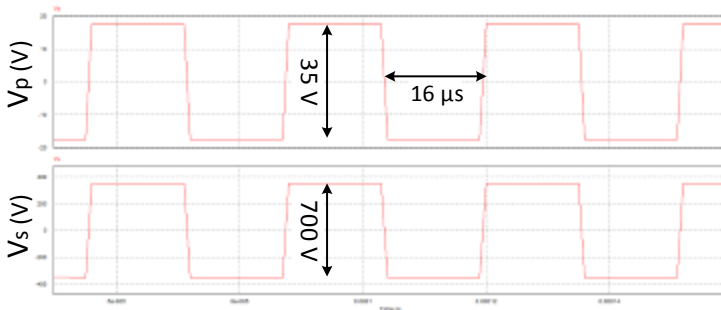
Gambar 3.6 Sinyal penyaklaran Q1, Q2, Q3, dan Q4 serta tegangan keluaran pada *inverter*

Bentuk gelombang tegangan dan arus masukan transformator ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Tegangan dan arus masukan transformator

Tegangan keluaran *inverter* berupa tegangan AC dengan nilai *peak to peak* sebesar 35 V digunakan sebagai *input* transformator, pada bagian sekunder transformator terbangkit tegangan AC dengan nilai *peak to peak* sebesar 700 V. Hasil simulasi transformator ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Tegangan primer dan tegangan sekunder pada transformator

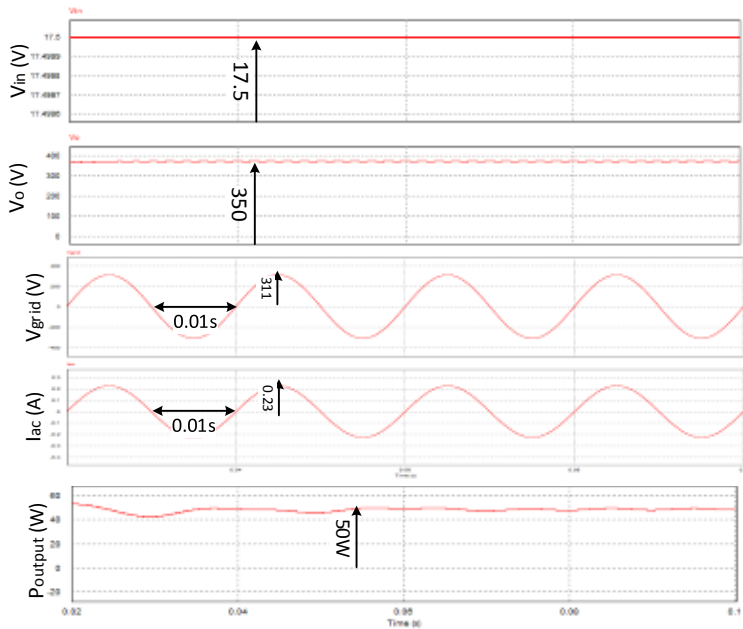
Tegangan keluaran transformator digunakan sebagai tegangan masukan *rectifier*, dengan menggunakan *rectifier* maka diperoleh tegangan DC sebesar 350 V pada sisi keluaran *rectifier*. Hasil simulasi *rectifier* ditunjukkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Tegangan keluaran *rectifier*

Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain *boost converter* yang akan diimplementasikan mampu mengubah tegangan sumber DC sebesar 17,5 V menjadi tegangan DC sebesar 350 V.

Selanjutnya tegangan keluaran *boost converter* digunakan sebagai tegangan masukan *inverter* yang terhubung dengan jala-jala. *Inverter* yang terhubung dengan jala-jala menggunakan penyaklaran sinusoidal PWM dan diatur untuk menghasilkan frekuensi 50 Hz dengan nilai daya 50 watt. Hasil simulasi menunjukkan desain *boost converter* dapat diimplementasikan pada sistem *photovoltaic* yang terhubung dengan jala-jala. Bentuk gelombang tegangan dan daya pada *inverter* yang terhubung jala-jala ditunjukkan pada gambar 3.10.

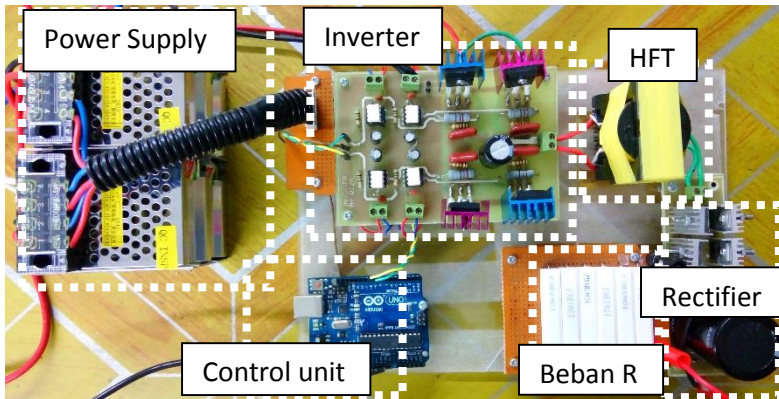


Gambar 3.10 Simulasi sistem *photovoltaic* terhubung ke jala-jala

Gambar 3.10 menunjukkan hasil bahwa desain *boost converter* DC-DC yang telah dilakukan mampu digunakan dalam sistem *photovoltaic* yang terhubung ke jala-jala, tegangan keluaran *boost converter* digunakan sebagai tegangan masukan *inverter* yang terhubung jala-jala.

3.4 Implementasi *Boost Converter*

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai komponen-komponen yang digunakan pada implementasi *boost converter* berdasarkan desain yang telah dilakukan dengan memperhatikan komponen yang bisa didapatkan di pasaran. Perancangan implementasi dapat dikelompokkan menjadi beberapa bagian, yaitu bagian *inverter*, transformator frekuensi tinggi, dan *rectifier*. Implementasi *boost converter* ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Implementasi *boost converter*

Perbedaan desain dan implementasi terletak pada komponen yang digunakan. Dalam proses desain beberapa komponen dianggap ideal, sedangkan dalam kondisi aktual, tidak ditemukan komponen yang ideal. Setiap komponen yang digunakan pasti memiliki rugi daya yang menyebabkan daya pada sisi keluaran lebih rendah daripada daya pada sisi masukan, berikut adalah beberapa komponen yang mengalami perbedaan nilai dengan desain awal.

3.4.1 Saklar Semikonduktor dan Optocoupler

Komponen saklar semikonduktor yang digunakan adalah MOSFET. Dalam kondisi aktual, komponen MOSFET memiliki *time rise* (t_r) dan *time fall* (t_f), oleh karena itu pada penyaklaran *inverter* perlu diberikan jeda antara kondisi *inverting* dan *non-inverting*. Pemberian jeda waktu bertujuan untuk menghindari kondisi saklar yang menyala secara bersamaan sehingga dapat menyebabkan hubung singkat. Jeda waktu ini dikenal dengan nama *Deadtime* [9].

Tipe MOSFET yang digunakan adalah IRFP4332. Komponen MOSFET jenis ini mempunyai *shoot through blocking time* (t_{st}) sebesar 100ns. Dari besaran nilai tersebut, perhitungan *deadtime* dapat dilakukan. Sinyal penyaklaran *non-inverting* ditentukan mempunyai nilai *duty cycle* sebesar 50%, sehingga nilai *duty cycle* sinyal penyaklaran *inverting* dapat dihitung melalui persamaan (3.6).

$$Deadtime = T. (DS_{non-inverting} - DS_{inverting})(3.6)$$

$$100ns = 32\mu s. (50\% - DS_{inverting})$$

$$DS_{inverting} = \frac{(32\mu s \times 50\%) - 100ns}{32\mu s}$$

$$DS_{inverting} = 49,68\%$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai *duty cycle* maksimal dari sinyal penyaklaran *inverting* adalah sebesar 49,68%. Namun dengan alasan keamanan komponen, maka pada implementasi alat nilai *duty cycle* penyaklaran *inverting* diberikan sebesar 47%.

Selain komponen saklar semikonduktor, pada rangkaian *inverter* juga terdapat optocoupler, pada implementasi alat dipilih tipe optocoupler FOD3182, optocoupler tipe ini mampu bekerja dengan frekuensi maksimal yaitu 250kHz.

3.4.2 Dioda

Desain awal dioda yang digunakan pada rangkaian *rectifier* merupakan dioda ideal. Dalam implementasi alat perlu diperhatikan mengenai spesifikasi dioda yang mampu bekerja pada tegangan dan frekuensi yang tinggi, sehingga digunakan tipe dioda MUR1560. Dioda MUR1560 memiliki kemampuan bekerja hingga tegangan 600V dan frekuensi mencapai 20MHz.

BAB 4

HASIL PENGUJIAN BOOST CONVERTER DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil pengujian dan analisis hasil implementasi *boost converter*. Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah pengujian sinyal PWMpenyaklaran, pengujian *inverter*, pengujian transformator frekuensi tinggi, pengujian *rectifier*, pengujian *boost converter* menggunakan *photovoltaic*, serta pengujian efisiensi rangkaian *boost converter*.

4.1 Deskripsi *Boost Converter*

Deskripsi implementasi *boost converter* menggunakan transformator frekuensi tinggi ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Deskripsi implementasi *boost converter*

Parameter	Tipe/Nilai
Tegangan sumber DC PV	17,24V
Tegangan sumber DC power supply	20V
Mikrokontroler	Arduino UNO
MOSFET	IRFP4332 (4 buah)
Optocoupler	FOD3182 (4 buah)
Power Supply untuk optocoupler	12V (3 buah)
Dioda	MUR1560 (4 buah)
Kapasitor	ELCO 1000uF 450V
Beban resistor	2570Ω
Frekuensi penyaklaran	31,25 kHz
Inti transformator	PC47EER49-Z
Perbandingan belitan	1:21
Belitan lapisan pertama	6 primer
Belitan lapisan kedua	249 sekunder
Belitan lapisan ketiga	12 primer
Belitan lapisan keempat	253 sekunder
Belitan lapisan kelima	6 primer
Induktansi primer	2,237 mH
Induktansi sekunder	1,086 H

Induktansi <i>leakage</i> (L_{ek})	2,1uH
Induktansi magnet (L_m)	2,235mH
Resistansi <i>leakage</i> (R_{ek})	0,32 Ω
Tegangan keluaran maksimal ($V_{in}=20V$)	411V
Tegangan keluaran untuk pengujian efisiensi	350V

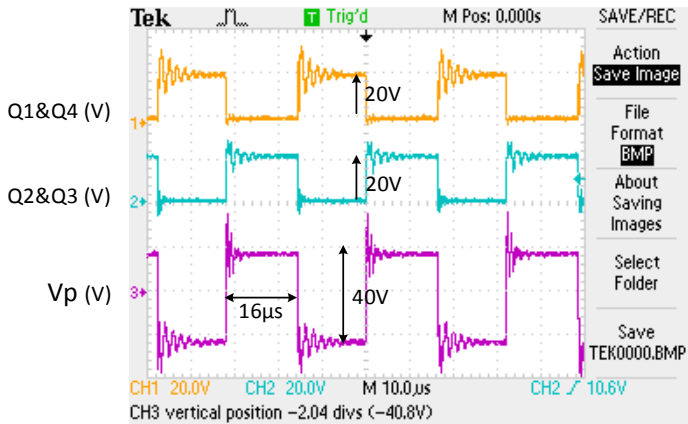
Komponen yang digunakan pada implementasi *boost converter* merupakan komponen yang nilainya terdapat di pasaran dan laboratorium.

4.2 Hasil Pengujian *Boost Conveter* menggunakan Transformator Frekuensi Tinggi

Tahap terakhir dari serangkaian tugas akhir ini adalah pengujian implementasi *boost converter* menggunakan transformator frekuensi tinggi. Pengujian alat bertujuan untuk mengetahui kinerja implementasi alat yang telah dibuat. Pengujian rangkaian *boost converter* dilakukan pada tiap *stage* rangkaian dan juga pada keseluruhan rangkaian, pengujian keseluruhan rangkaian dilakukan dengan dua kondisi yaitu saat menggunakan *power supply* DC di laboratorium sebagai sumber tegangan dan saat menggunakan *photovoltaic* sebagai sumber tegangan masukan *boost converter*. Selain itu juga akan diuji kemampuan *boost converter* bekerja pada berbagai kondisi daya keluaran agar didapatkan nilai efisiensi dari implementasi *boost converter*. Hasil pengujian tiap *stage* rangkaian *boost converter* dijelaskan pada beberapa sub bab berikut.

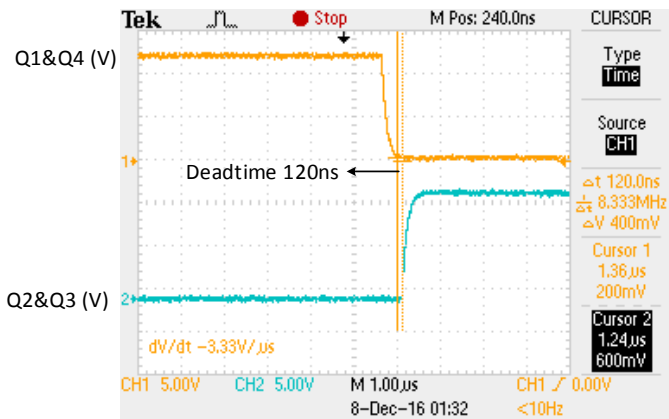
4.2.1 Pengujian *inverter*

Pengujian *inverter* terdiri dari pengujian sinyal penyaklaran PWM dan tegangan keluaran *inverter*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah bentuk gelombang tegangan keluaran *inverter* sudah sesuai desain dan simulasi yang dilakukan pada bab 3. Pada kondisi aktual diperlukan pengujian *deadtime* untuk memastikan bahwa *inverter* yang digunakan telah terhindar dari arus *shoot-through*. Pengujian *inverter* diawali dengan pengujian sinyal penyaklaran. Sinyal penyaklaran dan tegangan keluaran pada *inverter* ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sinyal penyaklaran *non-inverting* dan *inverting* serta tegangan keluaran *inverter*

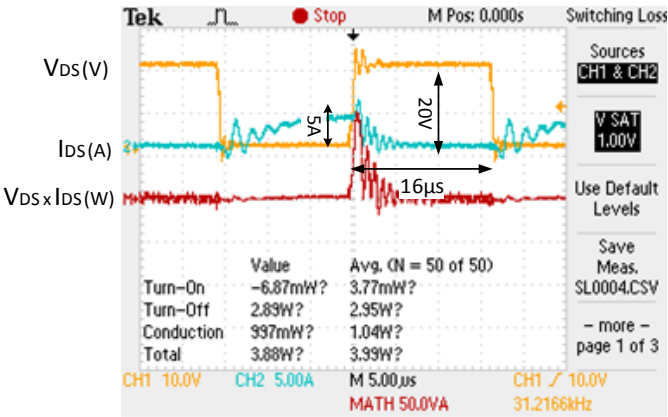
Gambar 4.1 menunjukkan sinyal PWM *non-inverting* dan *inverting* yang digunakan pada *inverter*. Sinyal yang diperoleh dari implementasi alat sudah menunjukkan hasil yang sesuai dengan desain. Pada sinyal penyaklaran juga terdapat waktu jeda antara sinyal *non-inverting* dengan sinyal *inverting* yang disebut *deadtime*. *Deadtime* pada implementasi *inverter* ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 *Deadtime* pada implementasi *inverter*

Hasil implementasi memperlihatkan terdapat jeda waktu kerja sekitar 0,12us antara sinyal *non-inverting* dan sinyal *inverting*. Pemberian jeda waktu tersebut bertujuan untuk menghindari lonjakan arus yang besar pada rangkaian *inverter* akibat hubung singkat. Apabila terdapat hubung singkat maka akan ada arus *shoot-through* yang dapat menyebabkan komponen MOSFET mengalami peningkatan suhu secara signifikan, nilai *deadtime* pada implementasi alat sudah sesuai desain yaitu cukup untuk menghindari arus *shoot-through*.

Penyaklaran *inverter* menggunakan komponen MOSFET IRFP4332. Penggunaan MOSFET jenis ini menyebabkan rugi daya pada saat penyaklaran atau biasa disebut dengan *loss switching*. Nilai rugi daya pada implementasi *inverter* ditunjukkan pada gambar 4.3.



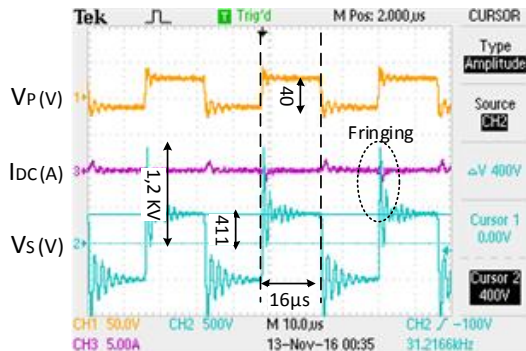
Gambar 4.3 *Switching loss* pada *inverter*

Hasil pengujian penyaklaran *inverter* pada saat dioperasikan dengan tegangan 20V menunjukkan nilai rugi daya rata-rata selama 50 detik sebesar 3,99watt.

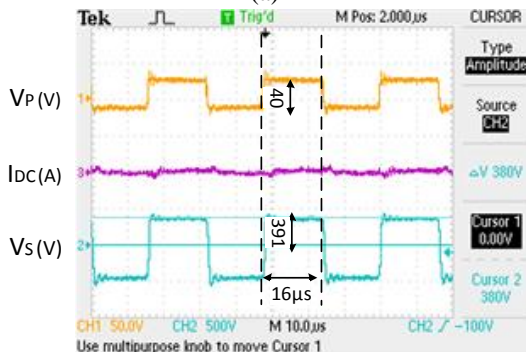
Implementasi *inverter* saat pengoperasian pada tegangan DC 20V menghasilkan tegangan AC sebesar 40V. Sinyal keluaran *inverter* digunakan sebagai tegangan masukan transformator frekuensi tinggi (V_p), bentuk tegangan keluaran *inverter* ditunjukkan pada subbab berikutnya yaitu pada gambar 4.4.

4.2.2 Pengujian Transformator Frekuensi Tinggi

Transformator frekuensi tinggi didesain agar mampu bekerja pada frekuensi tinggi dan mampu menghasilkan tegangan AC dengan nilai *peak to peak* minimal 622V. Hasil pengujian tegangan masukan dan tegangan keluran transformator pada saat kondisi tanpa beban serta kondisi berbeban ditunjukkan pada gambar 4.4.



(a)



(b)

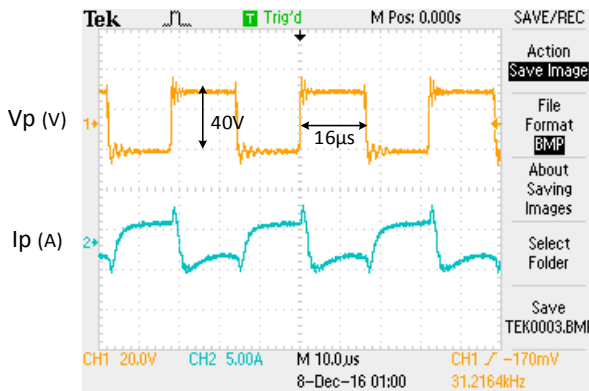
Gambar 4.4 Tegangan primer dan tegangan sekunder pada transformator (a) tanpa beban (b) berbeban.

Pengujian transformator tanpa beban bertujuan untuk mengetahui rugi daya pada transformator, pada pengujian dengan tegangan sumber DC 20V didapatkan nilai rugi daya pada transformator

sebesar 1,8watt. Rugi daya tersebut merupakan rugi yang disebabkan oleh rugi inti dan rugi belitan.

Transformator pada implementasi alat dapat menghasilkan tegangan AC dengan nilai *peak to peak* sebesar 822V, nilai ini lebih baik dari desain awal karena pada tahap desain ditentukan tegangan *peak to peak* yang harus dihasilkan oleh transformator adalah 700V. Secara teori tegangan minimal *peak to peak* yang dibutuhkan adalah 622V sehingga *rectifier* mampu menghasilkan tegangan DC sebesar 311V.

Gambar 4.4 (a) menunjukkan gelombang tegangan sekunder trafo yang memiliki *fringing* tegangan yang cukup tinggi. *Fringing* pada tegangan sekunder diakibatkan oleh celah udara pada inti transformator. Besaran nilai *fringing* dapat dikurangi dengan cara mengurangi celah udara pada inti transformator tersebut, nilai *fringing* juga dapat berkurang saat transformator dioperasikan dalam kondisi berbeban seperti terlihat pada gambar 4.4 (b). Implementasi transformator sengaja diberi celah udara pada inti transformator yang bertujuan agar transformator tidak mengalami saturasi pada saat dioperasikan, pada gambar 4.5 ditunjukkan nilai tegangan dan arus masukan transformator yang tidak mengalami saturasi saat dioperasikan.

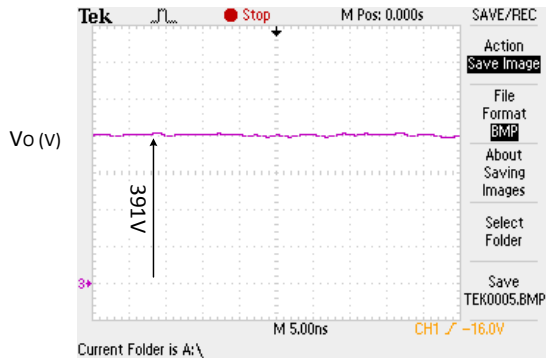


Gambar 4.5 Tegangan dan arus primer pada transformator

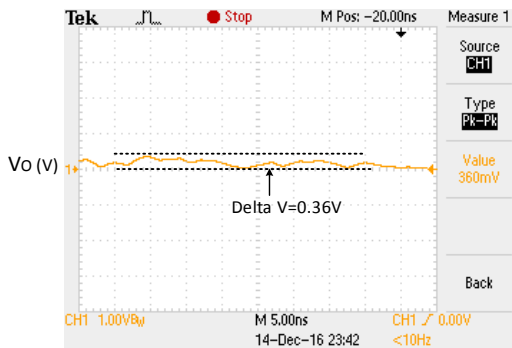
4.2.3 Pengujian *Rectifier*

Pengujian *rectifier* dilakukan untuk mengetahui bahwa rangkaian *boost converter* secara keseluruhan dapat bekerja dengan benar, yakni menaikkan tegangan DC sumber menjadi tegangan DC

dengan *level* yang lebih tinggi. Tegangan AC keluaran transformator diubah menjadi tegangan DC menggunakan *rectifier*, hasil pengujian *rectifier* ditunjukkan pada gambar 4.6.



(a)



(b)

Gambar 4.6 (a) Nilai tegangan keluaran *rectifier* (b) Nilai *ripple* tegangan keluaran *rectifier*

Dari gambar 4.6 dapat diketahui bahwa rangkaian *boost converter* secara keseluruhan mampu menaikkan tegangan 20V DC menjadi 391V DC dengan nilai *ripple* tegangan yaitu:

$$V_r = \frac{0,36V}{391V} \times 100\%$$

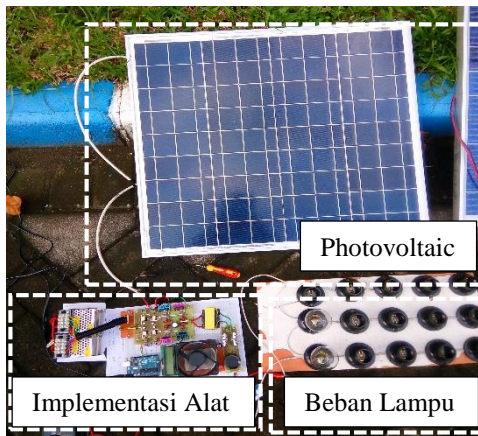
$$V_r = 0,09\%$$

Ripple yang diperoleh lebih kecil dari desain awal karena seharusnya nilai kapasitor yang dipasang sebesar 65,3 μ F, sedangkan pada implementasi alat digunakan kapasitor dengan nilai 1000 μ F. Selain diuji menggunakan kapasitor 1000 μ F, nilai *ripple* juga diuji menggunakan nilai kapasitor 200 μ F dan menghasilkan nilai *ripple* mendekati 1%. Dari pengujian tersebut dapat diketahui bahwa kapasitas kapasitor yang besar mampu menghasilkan nilai *ripple* tegangan yang lebih kecil.

Tegangan keluaran *rectifier* memiliki nilai yang lebih baik dibanding nilai pada desain awal yakni 350V. Secara teori tegangan minimal yang harus dihasilkan rangkaian *rectifier* adalah 311V.

4.2.4 Pengujian *Boost Converter* menggunakan *Photovoltaic*

Setelah implementasi rangkaian *boost converter* diuji dengan sumber DC berupa *power supply* di laboratorium dan mampu menghasilkan nilai parameter sesuai desain, tahap selanjutnya adalah pengujian *boost converter* menggunakan sumber DC berupa *photovoltaic*. Proses pengujian *boost converter* menggunakan *photovoltaic* diperlihatkan pada gambar 4.7.

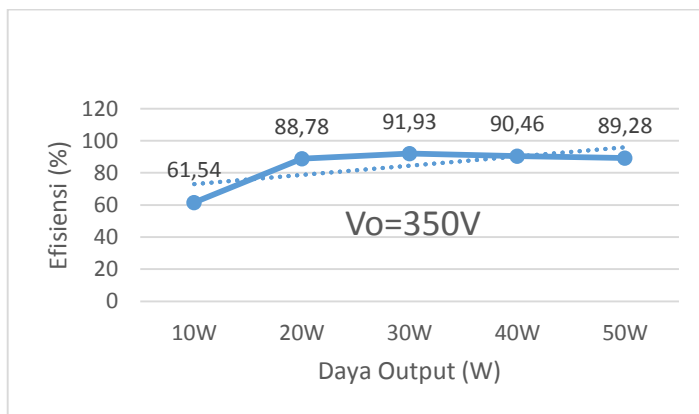


Gambar 4.7 Pengujian *boost converter* menggunakan *photovoltaic*

Pada pengujian ini pengujian beban penuh (50W) dan dengan kondisi cuaca yang cerah (*irradiance* tinggi), rangkaian *boost converter* mampu menghasilkan tegangan DC sebesar 327 V dan nilai tegangan masukan *boost converter* yang terbaca pada multimeter adalah 16,1 V. Dari hasil pengujian diperoleh hasil bahwa pada kondisi cuaca yang normal, rangkaian implementasi *boost converter* mampu diaplikasikan pada sistem *photovoltaic* dan selanjutnya dapat dikoneksikan dengan *inverter* yang terhubung dengan jala-jala.

4.2.5 Efisiensi *Boost Converter*

Serangkaian pengujian implementasi *boost converter* diakhiri dengan pengujian efisiensi alat. Pada pengujian efisiensi, nilai tegangan keluaran disetting konstan yaitu 350V, sedangkan daya beban diubah mulai dari 10W hingga 80W. Hasil pengujian efisiensi ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Efisiensi *boost converter* pada berbagai kondisi beban

Pengujian efisiensi rangkaian dilakukan dengan menggunakan lampu bohlam sebagai beban, konfigurasi beban diubah hingga diperoleh data seperti gambar 4.9. Dari hasil pengujian didapatkan efisiensi rata-rata pada implementasi alat sebesar 88,42%.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

Pada bab ini akan diuraikan beberapa kesimpulan dan saran dari serangkaian kegiatan tugas akhir yang dilakukan.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan melalui simulasi dan implementasi *boost converter* menggunakan transformator frekuensi tinggi untuk aplikasi sistem *photovoltaic* dapat disimpulkan menjadi beberapa hal berikut:

1. Implementasi *boost converter* mampu menaikkan tegangan 20 VDC menjadi 391 VDC, sehingga nilai penguatan (*gain*) rangkaian adalah sebesar 19,55 kali pada kondisi pembebanan penuh (50W).
2. Diperlukan adanya *deadtime* pada aplikasi *inverter fullwave* satu fasa yang berguna untuk menghindari arus *shoot-through*.
3. Teknik pembelitan transformator dengan cara selang-seling antara belitan primer dan belitan sekunder dapat mengurangi nilai rugi inti transformator.
4. Pemberian beban pada transformator dapat meredam *fringing* tegangan pada bagian sekunder transformator.
5. Efisiensi rata-rata dari implementasi *boost converter* adalah 88,42%.
6. Filter pada bagian *rectifier* dapat menggunakan kapasitor dengan kapasitas besar yang berguna untuk mengurangi *ripple* tegangan keluaran.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Komponen penyaklaran sebaiknya menggunakan komponen yang memiliki spesifikasi lebih baik dari pada MOSFET, misalnya komponen IGBT. Hal ini bertujuan agar nilai rugi daya karena penyaklaran dapat dikurangi.
2. Teknik pembelitan transformator sebaiknya diperbaiki dengan mempertimbangkan nilai mmf. Sehingga nilai rugi daya pada transformator dapat dikurangi.

3. Sebaiknya nilai induktansi transformator juga diperhitungkan agar kondisi saturasi dapat dihindari tanpa mengakibatkan efek *fringing*.
4. *Boost converter* menggunakan transformator frekuensi tinggi selanjutnya dapat digunakan sebagai *input inverter* yang terhubung ke jala-jala.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rosas-Caro, J.C., 2010. "A DC-DC multilevel boost converter", *IET Power Electronics*, 3:219-137.
- [2] Jeon, Seong-Jeub, 2001. "A zero-voltage and zero-current switching full bridge DC-DC converter with transformer isolation". *IEEE Transactions on Power Electronics*, 16:573-580.
- [3] Yerman, Alexander J., and Ngo, Khai D., Aug. 1990. *High-frequency transformer*, General Electric Company.
- [4] Santos, Walbemark. et al, 2013. "DC Microgrids with photovoltaic generation and high frequency isolation connected to utility grid", *Federal University of Santa Catarina, Brazil*.
- [5] Ned, Mohan. et al, 1995. "Power Electronics", *University of Minnesota*.
- [6] Hesterman, Bryce., Apr. 2007. "Analysis and Modeling of Magnetic Coupling", *IEEE Power Electronics Society*, Colorado.
- [7] Watson, R., and Lee, F.C., 1996. "A soft-switched, full-bridge *boost converter* employing an active-clamp circuit", *27th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 2:1948-1954.
- [8] Master, G.M., 2004 "Renewable and efficient Electric Power System". A John Wiley & Sons, Inc, Publication, New Jersey.
- [9] Gegner, Joel P., Jan. 1997. *Constant frequency, zero-voltage-switching converters with resonant switching bridge*, Motorola, Inc.
- [10] Bellar, M.D. et al, 1998. "A review of soft-switched DC-AC converters", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 34, 4:847-860.
- [11] _____, "Ferrite Core for Switching Power Supplies", *E series*, TDK.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

1. Ukuran kabel *email* transformator

TABEL KEKUATAN KAWAT EMAIL TRAFO
(by Sani Hasan Bandung)

Diameter (mm)	Luas penampang (mm ²)	Arus (A)
0.1	0.007	0.05
0.2	0.03	0.2
0.3	0.07	0.45
0.4	0.125	0.8
0.45	0.159	1.
0.5	0.196	1.25
0.6	0.282	1.8
0.65	0.33	2.1
0.7	0.384	2.45
0.75	0.44	2.8
0.8	0.5	3.2
0.85	0.56	3.6
0.9	0.635	4
1	0.785	5
1.1	0.95	6
1.2	1.13	7.2
1.3	1.32	8.45
1.4	1.53	9.8
1.5	1.76	11
1.6	2	12.8
1.7	2.26	14.45
1.8	2.54	16
1.9	2.83	18
2	3.14	20
2.1	3.46	22
2.2	3.8	24
2.3	4.15	26.45
2.4	4.52	28.8
2.5	4.9	31
2.6	5.3	33.8
2.7	5.7	36.45
2.8	6.15	39
2.9	6.6	42
3	7	45

2. Listing program arduino

```
void setup(){
pinMode(9, OUTPUT);
pinMode(10, OUTPUT);
TCCR1A  =  _BV(COM1A1)   |   _BV(COM1B1)   |
_BV(COM1B0);
TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(CS11);
}
void loop(){
// ICR1=1000/freq
ICR1 = 32;

// Duty Cycle (%ICR1)
OCR1B = 16;
OCR1A = 15;
}
```

RIWAYAT HIDUP



Penulis buku Tugas Akhir dengan judul **“Desain dan Implementasi *Boost Converter* dengan *High Frequency Transformer (HFT)* untuk Sistem *Photovoltaic* terhubung ke Jala-jala”** bernama lengkap Musafa Reza Maulana. Penulis yang akrab disapa Reza lahir di Kebumen pada tanggal 01 Oktober 1995. Penulis hidup sederhana bersama orang tua dan adik di Kabupaten Kebumen. Penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 1 Kebumen pada tahun 2010, pendidikan tingkat lanjut di SMA Negeri 1 Kebumen pada tahun 2013 dan pendidikan tingkat tinggi di Jurusan Teknik Elektro ITS pada tahun 2017. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa ITS selama dua periode yaitu 2014/2015 dan 2015/2016. Penulis juga aktif menjadi asisten di Laboratorium Konversi Energi Listrik Teknik Elektro ITS.

Halaman ini sengaja dikosongkan